

고정식 연료전지의 개발제품 및 안전기준

김영규, 김은정, 박교식, 김수중*, 고석훈**
한국가스안전공사 가스안전연구개발원, 한국항공대학교*, 경희대학교**

Developed Products and Safety Regulations of Stationary Fuel Cell

Young-Gyu Kim, Eun-Jung Kim, Gyo-Shik Park, Soo-Jong Kim*,
Seok-Hoon Ko**

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
Hankuk Aviation University*, Kyunghee University**

1. 서론

전 세계적으로 환경오염의 규제강화와 화석연료의 고갈문제로 인해 새로운 대체 에너지원으로서 수소가 주목받고 있으며, 이러한 수소에너지를 이용하는 시스템의 개발 필요성이 증대되고 있다. 연료전지는 수소와 산소를 전기화학적으로 반응시켜 수소가 가진 화학에너지를 전기에너지와 열에너지로 직접 변환하는 에너지 변환장치로서 효율이 높고 청정하며 운전소음이 적어 차세대 에너지원인 수소의 이용을 주도할 것으로 기대된다. 이러한 연료전지는 이용 형태에 따라 이동식과 고정식 연료전지시스템으로 구분되는데 이동식 연료전지시스템은 주로 자동차의 동력원이나 노트북, 휴대폰 등의 개인휴대용 전자제품의 전원공급용으로 사용되는 것으로 전기 에너지만을 이용하는 반면에, 고정식 연료전지시스템은 가정용, 상업용의 복합발전 시스템으로 사용되는 것으로 전기와 함께 열에너지를 발생시키는 고효율 시스템이다. 이러한 점 때문에 미국, 일본, 유럽 등 세계 각국의 연구소나 기업이 연료전지개발에 참여하고 있으며 고정식 가정용 연료전지시스템의 경우 가장 급속히 상용화 과정이 진행되고 있다. 연료전지시스템의 상용화를 위해서는 연료전지시스템의 핵심 기술 확보, 제품개발, 실증연구 등의 단계를 거쳐야 하나 이러한 과정 중에 발생될 수 있는 사고의 개연성을 줄이기 위해서는 연료전지시스템의 안전성을 확보하는 것이 필요하다. 이를 위해서 미국, 일본 등 연료전지 선진국에서는 연료전지시스템의 안전성 확보를 위한 안전기준을 제정하여 각 실증연구 단계에 적용하고 있다. 국내에서도 한국가스공사를 중심으로 가정용 연료전지에 대한 모니터링 사업을 금년부터 본격적으로 추진하고 있는 상태이다.

본 논문에서는 국내외의 고정식 연료전지시스템에 대한 개발현황과, 또한 진행 중에 있는 연료전지 관련의 안전기준을 알아보고자 한다.

2. 고정식 연료전지 개발제품

고정식 연료전지시스템은 연료로서 수소, 메탄올, 천연가스, 디젤유 등을 사용할 수 있으나 천연가스의 공급인프라가 가장 잘 갖춰져 있어 전 세계적으로 설치된 고정식 연료전지시스템 중 약 75% 정도가 천연가스를 개질한 수소를 연료로 사용하는 방식으로 운전되고 있다. 또한 연료전지시스템은 내부 전해질과 운전온도 등에 따라 인산형, 알칼리형, 고분자 전해질형, 용융탄산염형, 고체산화물

형, 직접 메탄올형으로 구분된다. 이 중 고분자 전해질형은 취급이 용이하고, 다른 연료전지에 비해 부피와 무게가 적고 상온에서 동력밀도가 높으며, 작동온도가 낮아 시동과 정지가 용이하다는 장점이 있어 고정식 연료전지의 대부분을 차지하는 가정용 연료전지에 주로 사용되고 있다.

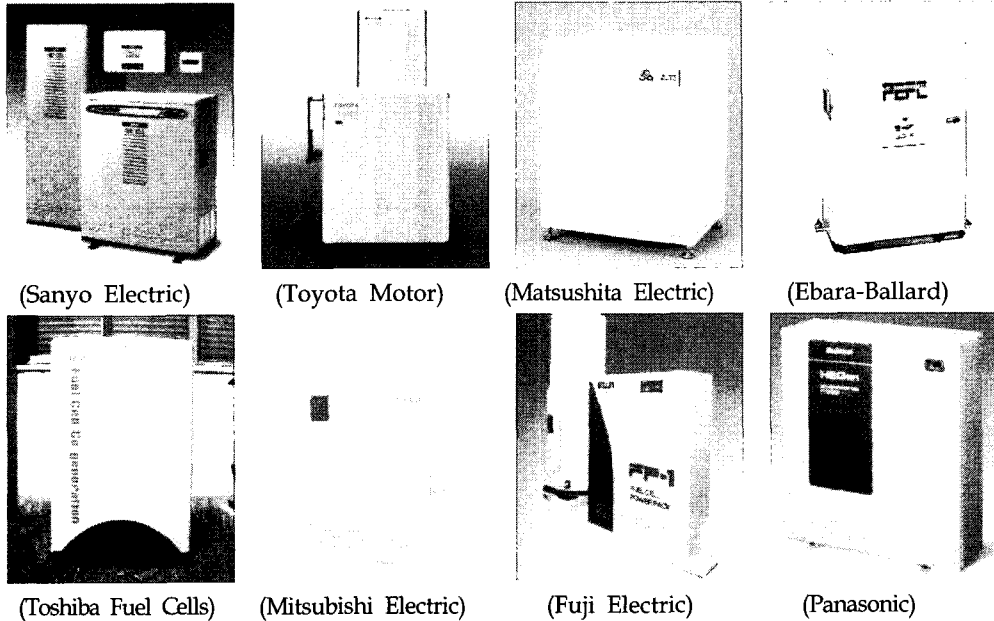


그림 1. 일본 가정용 연료전지 개발 제품

일본은 2002년부터 경제산업성이 신에너지재단을 통해 가정용 및 소용량 업무용 연료전지 실증사업을 6개사, 12개소로 시작하여 2003년에는 그 규모를 11개사 31개소로 확대하였다. 현재 산요, 도요다, 미쓰비시, 에바라, 도시바, 후지, 파나소닉, 마스시다 등 8개 업체들이 가정용 연료전지시스템 생산에 참여하고 있으며 업체별로 생산규모는 산요(445대), 도시바(341대), 에바라(285대), 파나소닉, 도요다 순으로 나타났다. 일본은 2005년부터 도쿄가스, 오사카가스, 니폰오일 등이 참여하는 480대 규모의 실증사업을 진행 중이다. 실증사업을 통해 해결해야 할 문제점도 대두되었는데 연료전지시스템은 전기와 열을 동시에 발생하는 장점이 있지만 여름철에는 열 수요가 없어 열전 대비를 맞추는 방안이 모색되고 있다. 또한 여름철 기온이 높아 연료전지의 냉각문제가 발생하였는데 현재는 온수를 그대로 배수하거나 연료전지의 운전을 중단하여 냉각을 하므로 향후 효율을 유지하며 냉각할 수 있는 방법을 개발하여야 할 것으로 판단되었다. 각 연료전지업체가 개발한 제품을 살펴보면, 에바라 발라드는 오사카 가스와 공동으로 고분자 전해질형 연료전지를 이용한 출력 1kW급의 가정용 열병합 발전시스템을 개발했다. 이 제품은 발전효율 35%, 열회수 효율 55%로 세계 최고수준의 성능을 달성한 시스템으로, 한층 더 신뢰성 및 내구성의 향상, 저비용화를 향한 개발을 추진해, 2006년 상용 판매를 목표로 한다. 이 외에도 2005년 2월부터 도쿄가스를 통해 일본내 한정판매가 시작된 1kW급 가정용 고분자 전해질형 연료전지시스템은 현재

600만엔 이상에 판매되고 있다. Matsushita는 새로운 사양의 연료전지시스템을 2006년 하반기에 개발하여 2008년에 투입할 계획이다. 요구 성능을 만족하는 제조가격은 120만엔, 내구성은 10년 간 보증하는 기종으로 기존의 연료전지시스템에 비해 부품 개수는 2분의 1 이하로 줄인 제품이다. 도쿄가스는 7년간의 연구 끝에 2006년 2월 세계 최초로 가정용 연료전지 상용화에 성공했다. 이 라이프 셀 제품은 도시가스인 메탄과 LPG, 부탄 등을 개질하여 사용하는 시스템으로 발전 효율은 32~33%, 급탕에 의한 열회수율은 40% 이상으로 종합효율로 따지면 80%에 가까운 시스템이다.

미국은 이동형 중에서도 자동차용 연료전지 개발에 집중하고 있으며, 고정식도 가정용보다 상업용에 집중하고 있다. 이에 따라 미국은 5~10kW급 상업용 연료전지 개발에 주력하고 있으며 DOE의 실증사업으로 가정용연료전지는 미국 28개 지역에 52대가 설치·운영되고 있다. 플러그 파워(Plug power)사는 LIPA(Long island Power Authority) 프로그램을 통해 변전소에 75대(5kW급)의 분산형 연료전지를 가동중이며, 현재 45기를 추가로 설치중이다. 누베라사는 4.5kW급 열병합 시스템 Avanti를 개발하여 2007년까지 필드테스트를 진행할 예정이다. 또한 IdaTech, UTC, Caterpillar 등의 회사를 중심으로 실용화가 급속히 진행되고 있으며 2010년까지 수명 40,000시간, 효율 40%의 가정용 연료전지를 보급하는 것을 목표로 연구개발이 진행중이다.

유럽은 독일을 중심으로 BP셀 등 정유사들이 수소인프라 구축에 전력하고 있는 가운데 유러퓨얼셀이 1.5kW급 연료전지를 개발 100대 이상을 필드테스트 한다는 계획이다. Vallant는 유럽연합이 지원하는 버츄얼 연료전지 플랜트 프로젝트를 진행하고 있으며 개별난방, 냉방, 전원 공급용으로 다가구 주택, 공공시설 등에 약 40기의 고정식 열병합 발전시스템을 설치하고 있다. 현재 시제품을 독일, 스코틀랜드 등지에 4대를 설치해 운영하고 있으며 상용제품은 2008년경에 가능할 것으로 보인다. 스위스는 1kW급 연료전지를 개발해 100대 이상 필드테스트를 진행하고, 2006년 1만대 가량을 생산할 것으로 예측된다.

국내는 지난 1989년부터 정부 출연연구소와 기업을 중심으로 연구개발을 시작, 미국 일본 유럽에 비해서는 기술이 낮은 수준이다. 현재 KIST, 에기연 등의 연구기관과 GS퓨얼셀, 퓨얼셀파워, 삼성종합기술원 등의 기업에서 가정용 연료전지를 개발하고 있으며, 금년부터 모니터링 사업을 추진중에 있다. 2006년 40대를 시작으로 2007년 70대, 2008년에는 100대를 보급, 3년간 모니터링사업을 진행하게 되며, 모니터링사업을 통해 최종적으로 가정용 연료전지시스템의 국산화 비율을 80%로 확보하고, 가격도 2010년까지 현재의 절반수준으로 낮출 계획이다. GS퓨얼셀의 경우, 2005년 2월 1kW급 연료전지시스템을 개발하였으며 2006년 가정용 연료전지시스템 모니터링에 보급한다. 삼성종합기술원은 2006년 8월 세계 최소형 1kW급 가정용 연료전지를 개발하였다. 이 제품은 멤브레인에서의 수소촉매 반응이 150℃ 이상에서 이뤄지는 고온형으로 일반적으로 80℃에서 반응이 이루어지는 저온형에 비해 에너지 효율이 높다. 퓨얼셀파워는 귀뚜라미보일러와 2006년 9월 세계 최초 최소형 연료전지시스템인 '셀빌'을 공동으로 개발하여 출시하였다. 이 제품은 도시가스를 개질하여 시간당 1kW의 전기와 함께 하루에 약 31kW의 열을 발생하는 시스템으로 2006년 시범사업으로 설치될 예정이다.



그림 2. 국내 가정용 연료전지 개발제품

3. 고정식 연료전지의 안전기준

고정식 연료전지시스템은 높은 효율성 때문에 국내외적으로 활발한 연구, 개발이 이루어지고 있으며 실증연구를 통한 상용화 또한 급진전 되고 있으며 일부 제품의 경우 이미 상용화되었다. 이러한 고정식 연료전지 발전시스템의 최종 목표인 상용화를 위해서는 연료전지시스템의 잠재적 위험성을 제거하여 안전성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 이 때문에 미국, 일본 등 연료전지 선진국에서는 각종 규격과 규정을 통해 이를 제도화 하고 있고 연료전지 발전시스템의 안전기준을 제정해 이를 적용하고 있다. 국내에서는 아직 제품 개발이나 연구 단계에 적용할만한 안전기준이 제정되어 있지 않아 연구개발, 제작, 설치, 운전 중의 잠재적 위험에 노출되어 있으며 각 연구기관이나 제작업체가 자체적으로 정한 안전수칙에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 국내 연료전지 발전시스템에 적용 가능한 안전기준의 제정은 매우 시급하고 중요하며 이를 위해 이미 제정, 수정 중에 있는 국내외 안전기준의 내용을 검토하는 것은 매우 중요한 것으로 여겨진다. 국내외 안전과 관련한 기준을 정리하면 표 1과 같다.

표 1에서의 기준들을 종합하여 보면 고정식 고체고분자형 연료전지시스템에 대한 구조, 재료, 기능, 설치 기준, 표시·표식, 취급 설명서 등 시스템 전반의 안전에 필요한 사항에 대해 규정한 것으로 출력 10kW 미만의 교류 출력 220V이하 또는 직류 출력의 계통연계가 되며 자립 운전 또는 독립 운전을 하는 연료전지 시스템에 대한 기준이다. 연료로는 도시가스, 액화석유가스 등의 가스 연료와 등유 등의 액체 연료 또는 수소를 사용하는 것으로 연료가스를 통하는 부분의 최고 사용압력이 0.1MPa 미만으로서 패키지에 수납된 고정식 열병합발전시스템을 대상으로 한다. KGS의 안전기준 항목과 내용을 정리하면 표 2와 같다.

표 1. 고정식 연료전지시스템에 관한 안전기준

구분	제 목	기준	
국외	Stationary Fuel Cell Power Systems - Safety	IEC 62282-3-1	
	Stationary Fuel Cell Power Systems - Performance test methods	IEC 62282-3-2	
	Stationary Fuel Cell Power Systems - Installation	IEC 62282-3-3	
	미국	American National Standard for Stationary Fuel Cell Power Systems FC 1	ANSI/CSA America FC 1
	일본	고체고분자형 연료전지 검사규정 소형고체고분자형연료전지시스템의안전기준	JIA F 035-04 JIS C XXXX : 2006
국내	KS	연료전지기술-제1부 : 용어 연료전지기술-제2부 : 연료전지모듈	KSCIEC62282-1 KSCIEC62282-2
	KGS	연료전지의 제조 및 검사기준	고시
		고정식 연료전지 설치기준	고시

표 2. 고정식 연료전지시스템의 안전기준 항목

항 목	내 용
일반재료	내식성, 내열성, 내습성, 내후성
일반구조	내구성, 강도, 임의 교체 불가능, 유지보수 가능, 날카로운 외관 없음, 이물질 유입 방지, 보호막 설치, 분해작업 용이
연료전지 셀스택	압력, 진동, 열에 대한 내구성, 내식성, 전기 안전성
연료 개질 장치	압력, 진동, 열에 대한 내구성, 내식성
연료 개질계 배관	기밀성, 내식성, 내열성, 자동차단 가능, 역류방지, 배관 내구성, 유지보수 용이성
물배관/온수배관	기밀성, 내식성, 내열성, 접속구가시성, 내구성, 유지보수 용이성
버너 및 접화버너	회연구 내열성, 역화 방지, 점화시 자동 폐지 가능, 점화확이성, 연료공급 자동 차단 가능, 방전불꽃 이용 점화, 점화히터 이용 점화
전자 제어장치를 이용하는 기기	오작동 방지, 제어회로 단락 또는 단선시 안전성 확보 가능
전동기를 갖추고 있는 기기	회전자 위치와 상관없이 시동 가능, 운전 지속성, 전원 이상시 안전성 확보
전기장치	내열성, 작동 신뢰성
전기배선	피복손상회피, 절연방열고정, 내열성, 내구성, 식별성, 이상시 과전류 보호장치 구비, 아크에 의한 성능저하 방지
충전부	인체접촉 방지, 고압 주의 표시
접지	주의 표시, 설치 용이성, 인체접촉 방지, 내구성
전기부품 및 부속품	정격전압, 정격전류, 허용전류는 최대전압 또는 최대전류 이상
공기 및 유체의 이동 관련 기기	유지보수 용이성, 운전온도 적합성
배열회수장치	공기방출 기능
온수조 유니트	KS B 8102, KS B 8110 에 적합
전력변환장치	안전정 운전, 고장방지, 최대출력변환 가능, 충분한 독립 운전용량 보유, 단상2선식, 단상 3선식, 삼상3선식 표준
보호장치	운전상태 확인가능, 정지시 대응가능, 지락단락 사고시 보호기능, 온도상승/개질기, 버너오프/연료가스누출/제어장치이상/제어전원감하/회전류/발생전압이상/온도급상승/환기장치 이상시 자동정지기능 보유

4. 결론

미래의 성장동력 에너지원으로 수소가 각광을 받으면서 이를 활용하는 연료전지시스템에 대한 상용화를 앞당기기 위해 일본, 미국, 유럽 등 주요 선진 국가뿐만 아니라 우리나라에서도 국가 차원의 제품개발과 안전연구를 추진하고 있다. 현재 전 세계적으로 기술개발이 활발하게 이루어지고 있는 고정식 연료전지시스템은 환경친화적이면서도 비교적 효율이 높아 차세대 수소에너지 이용을 주도할 것으로 보인다. 그러나 현재는 연료전지시스템의 가격 경쟁력이 낮아 가까운 시간 내에 실용화가 되기에는 어려움이 많은 실정이다. 또한 연료전지시스템은 제조, 설치 및 운전에 대한 안전성이 확보되어야 상용화 보급이 활성화 될 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 국내외의 연료전지 개발제품에 대한 기술개발 추이와 현황에 대하여 알아보았고, 또한 국내·외 안전 관련의 기준에 대해서도 알아보았다. 제시된 사항들은 국내 고정식 연료전지시스템에 적용 가능한 실효성 및 신뢰성 있는 국가 안전기준을 제정하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Japan Gas Appliances Inspection Association, 固体高分子形燃料電池検査規程, JIA F 035-04, 2004.
2. Japanese Industrial Standard, 固体高分子形燃料電池システムの安全基準, 2004.
3. CSA America, ANSI/CSA FC 1, American National Standard for Stationary Fuel Cell Power Systems, 2004.
4. IEC, IEC 62282-3-1, Stationary Fuel Cell Power Systems - Safety, 2005.
5. IEC, IEC 62282-3-2, Stationary Fuel Cell Power Systems - Performance test methods, 2005.
6. IEC, IEC 62282-3-3, Stationary Fuel Cell Power Systems - Installation, 2005.
7. KS, KSCIEC62282-1, 연료전지기술-제1부 : 용어, 2006.
8. KS, KSCIEC62282-2, 연료전지기술-제2부 : 연료전지모듈, 2006.
9. 한국가스안전공사, 연료전지의 제조 및 검사기준, 2006.